

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“PROPUESTA DE SOLUCIONES TECNICAS
PARA CONTRARRESTAR LOS EFECTOS
DEL FENOMENO EL NIÑO EN EL CANTON
TOSAGUA, PROVINCIA DE MANABI”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

JEFFREY MANUEL BARBERAN SOLORZANO

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2001

AGRADECIMIENTO

AL ING. MIGUEL ANGEL CHAVEZ, MI DIRECTOR DE TESIS Y DIRECTOR DEL GRUPO DE INGENIERIA DE LA OFICINA DE PROYECTOS DE ICT (ESPOL) A LA QUE SE PERTENECE EL AUTOR, Y A TODAS LOS PROFESORES Y PERSONAS QUE HAN COLABORADO PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

DEDICATORIA

A **DIOS** POR HABERME
PERMITIDO LLEGAR A ESTE
SUEÑO Y TENER A MI
MADRE A MI LADO.

A MIS QUERIDOS **PADRES**,
AUTORES DIRECTOS DE MIS
TRIUNFOS, A MIS
HERMANOS POR SU
CARIÑO Y APOYO
INCONDICIONAL.

A MIS **AMIGOS** Y A **VIVI** POR
SU COMPRESION Y AYUDA.

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Edyson Navarrete Cuesta
DECANO DE LA F.I.C.T.

Ing. Miguel Chavez Moncayo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Santos Baquerizo
VOCAL

Ing. Julián Coronel Ramírez
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

Jeffrey Barberán Solórzano.

RESUMEN

La presente tesis comprende un análisis minucioso de los daños y las causas de los daños que afectaron al cantón Tosagua en la Provincia de Manabí como consecuencia de la presencia del Fenómeno El Niño en 1998, a fin de plantear las posibles soluciones para contrarrestar sus efectos en futuras apariciones.

El estudio abarca varios capítulos, el primer capítulo trata principalmente de los aspectos generales del cantón Tosagua y su situación actual como consecuencia de la acción del Fenómeno El Niño. El segundo y el tercer capítulo, tratan sobre la incidencia del medio, la determinación de la causa de los daños y la descripción de los trabajos que se realizaron durante este estudio.

El cuarto capítulo trata sobre las diferentes soluciones propuestas y los resultados encontrados mientras en el quinto capítulo se efectúa un pequeño estudio económico sobre lo que costaría aplicar algunas de las soluciones planteadas.

Finalmente se realizan algunas recomendaciones para futuras obras a realizarse a fin de prevenir nuevos daños por causa del Fenómeno El Niño.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE GRAFICOS.....	X
1. INTRODUCCION.....	11
1.1 Información Preliminar.....	12
1.1.1 Ubicación.....	12
1.2.2 Actividades Económicas.....	13
1.2.3 Educación.....	13
1.2 Características Físicas.....	15
1.2.1 Población.....	15
1.2.2 Topografía.....	16
1.2.3 Hidrografía.....	17
1.2.3.1 Precipitación.....	18
1.2.4 Geología.....	20
1.2.4.1 Geología Regional.....	20
1.2.4.2 Geología Local.....	21
1.2.5 Clima.....	24
1.3 Descripción de los daños ocurridos.....	27
1.3.1 Información previa.....	27
1.3.2 Daños en vías y calles.....	31
1.3.3 Daños en el agua potable.....	32

1.3.4 Daños en el alcantarillado.....	33
1.3.5 Daños en la energía eléctrica y comunicaciones.....	35
2. INVESTIGACION DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS.....	37
2.1 Incidencia de los aspectos topográficos y de drenaje.....	38
2.2 Incidencia de la geología.....	40
2.3 Incidencia de las precipitaciones y períodos de sequía.....	42
2.4 Influencia del comportamiento geotécnico.....	44
2.5 Determinación de las causas de los daños.....	45
3. INVESTIGACION DE LAS CONDICIONES MEJORADAS.....	49
3.1 Trabajo de campo.....	50
3.2 Trabajo de laboratorio.....	55
3.3 Utilización de nuevos materiales para la construcción.....	59
4. PROPUESTA DE SOLUCIONES.....	61
4.1 Soluciones de estabilización en laderas y taludes.....	62
4.2 Soluciones de control de la erosión.....	64
4.3 Soluciones para control de expansión y colapso.....	66
4.4 Soluciones utilizando nuevos materiales.....	71
4.5 Recomendaciones para el proceso constructivo.....	72
5. EVALUACION DE COSTOS.....	76
5.1 Costo estimado de los daños ocurridos en el Fenómeno El Niño.....	77
5.2 Costo estimado de la reconstrucción en las condiciones propuestas.....	78
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	84
PLANOS Y ANEXOS.	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.1	Precipitaciones en el cantón Tosagua.....	16
Tabla 3.2.1	Resultados de expansión con humedad natural.....	56
Tabla 3.2.2	Resultados de expansión con muestras secas.....	26
Tabla 4.1.1	Parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante.....	62
Tabla 4.3.1	Resultados del primer tratamiento.....	66
Tabla 4.3.2	Resultados del segundo tratamiento.....	68
Tabla 4.3.3	Resultados del tercer tratamiento.....	69
Tabla 4.3.4	Resultados finales.....	70

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.2.1	Precipitaciones Promedio en el cantón Tosagua.....	19
Gráfico 1.2.2	Temperatura en el cantón Tosagua.....	24
Gráfico 1.2.3	Nubosidad en el cantón Tosagua.....	25
Gráfico 1.2.4	Evaporación en el cantón Tosagua.....	26
Gráfico 1.2.5	Heliofanía en el cantón Tosagua.....	27
Gráfico 4.3.1	Resultados del primer tratamiento.....	67

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 INFORMACION PRELIMINAR

El fenómeno del Niño ha sido en los últimos años uno de los graves problemas que ha tenido el Ecuador, la Costa ecuatoriana se ha visto afectada continuamente por deslaves, aludes, modificaciones en el comportamiento de los suelos y desbordamientos de ríos que han perjudicado seriamente a su desarrollo en general.

El cantón Tosagua en la provincia de Manabí ha sido un claro ejemplo de la incidencia de dicho fenómeno por la afectación y destrucción de obras de infraestructura así como viviendas y otras obras de esta importante población que se encuentra en un acelerado desarrollo urbano.

1.1.1 UBICACIÓN

El cantón Tosagua está localizado al noroeste de la provincia de Manabí, y tiene como cabecera cantonal a la ciudad del mismo nombre, principalmente se desenvuelve como centro de prestación de servicios comerciales, bancarios e institucionales, principalmente dentro del campo agrícola y ganadero.

Tosagua es el punto de confluencia de una serie de importantes carreteras de enlace de parte de Manabí tales como Tosagua – Chone, Tosagua – Bahía y Tosagua – Rocafuerte – Portoviejo.

El cantón limita al norte con los cantones Chone y Sucre, al este con el cantón Bolívar, al oeste con el cantón Sucre y al sur con los cantones Junín y Rocafuerte, Tosagua se desarrolla en la orilla este del río Carrizal, aguas abajo de la presa de La Estancilla y por su ubicación se constituye en el paso obligado de los vehículos de transporte comercial.

1.1.2 ACTIVIDADES ECONOMICAS.

La actividad predominante de la población es la de servicios con el 35%, mientras un 25% se dedica al comercio de productos del agro siendo estas dos las principales actividades económicas teniendo además las artesanías con un 16.6% y el porcentaje restante a actividades varias.

1.1.3 EDUCACION.

La población cuenta con una educación que llega hasta el nivel secundario teniendo dentro de cada nivel lo siguiente:

Centros educacionales Pre-primarios:

- Santa Lucía de Madrillac.
- Mixto Amistad.
- Ana Luisa Balda.

- 25 de Enero.
- Nuevo Mundo
- 8 de Diciembre.

Centros educacionales Primarios:

- Santa Lucía de Madrillac.
- Mixto Amistad.
- 25 de Enero.
- 8 de Diciembre.
- Luis Vargas Yépez.
- 5 de Junio.
- José Vicente Luque.
- Pedro Shumacher.
- Magdalena Dávalos.
- Eugenio Espejo.

Centros educacionales Secundarios:

- Carlos Julio Arosemena.
- Nacional Técnico Tosagua.
- Mixto Pedro Schumacher.
- María Luisa Aldaz.
- 3 de Octubre.
- Academia Bertha Narvaez.

1.2 CARACTERISTICAS FISICAS.

1.2.1 POBLACION

El cantón Tosagua tiene una población de 7086 habitantes según la información proporcionada por el INEC en el censo realizado en el año de 1990; posteriormente se realizó un recuento poblacional efectuado en dos etapas en noviembre del año de 1997 (30%) y en abril de 1998 (70%), encontrándose una población residente de 8063 habitantes, se considera que en la actualidad la población supera los 10500 habitantes.

Aspectos Urbanísticos:

Según la información que reposa en los archivos del POFE, la superficie total del cantón Tosagua es de 244 Ha, de las cuales un 74% esto es 181 Ha se encuentran ocupadas teniendo una densidad promedio de 43 hab. / Ha.

La superficie que se encuentra disponible para el asentamiento urbano está ubicada en zonas con pendientes menores al 5%, en los sectores norte y noroeste de la actual población.

En general existen dos zonificaciones urbanas, una mixta (residencial – comercial) que está ubicada en la parte céntrica de la ciudad y en la cual se encuentran la mayor concentración de edificaciones y población; y, una netamente residencial que ocupa los sectores periféricos de la ciudad.

Vivienda:

Según los censos realizados existen en la ciudad 1451 viviendas que relacionadas con los habitantes actuales (10500 según las proyecciones) nos da un índice de aproximadamente 7 habitantes por vivienda.

1.2.2 TOPOGRAFIA

En el sector de Tosagua el relieve es generalmente plano, de poca altitud con pequeñas lomas, que son ramificaciones de las montañas de la cordillera costanera, las mismas que se levantan junto a la rivera del mar.

Por las características topográficas es posible diferenciar dos zonas, una parte de topografía irregular constituida por las colinas, con pendientes que fluctúan entre el 20% y el 30 %, y una planicie ubicada hacia el norte y el noroeste del cantón, que se caracteriza por sufrir inundaciones.

La Municipalidad de Tosagua, ha previsto la expansión futura del cantón, en el área plana mencionada anteriormente.

El área de estudio que cubre los dos sectores topográficos se encuentra ubicado entre las coordenadas 584000 – 582000 de Sur a Norte y 9912500 – 9914000 de Este a Oeste.

En el Anexo de Topografía se incluyen la hoja Topográfica del sector y un

plano del cantón Tosagua.

1.2.3 HIDROGRAFIA.

Hidrográficamente el cantón Tosagua se encuentra asentado en la orilla Este del río Carrizal, que forma parte de la cuenca hidrográfica del río Chone, la misma que es la mayor de la provincia y que tiene una extensión aproximada de 2267 Km.

En el sector de Tosagua, el río Carrizal es típicamente de curso medio en donde prácticamente no existe turbulencia, pero sí, altas velocidades de flujo, de allí su peligrosidad para el uso de la navegación, y principalmente por el gran poder erosivo que presenta en las orillas del cauce.

Debido a la turbiedad que presenta el río en las crecidas se desprende que existe un fuerte proceso de erosión en la cuenca de drenaje que causa el arrastre y transporte de sedimentos principalmente limoso, y también limo arenosos.

Observando el cauce del río, se constata una tendencia meandriforme que en los tramos donde no ha existido intervención antrópica, sirven para controlar la gran energía hídrica que traen los caudales. Para el presente estudio no se ha logrado establecer con claridad si parte de los meandros naturales del río han sido ocupados por las construcciones viales existentes.

En el Anexo Hidrología se puede encontrar un plano general de la hidrografía del sector.

1.2.3.1 Precipitación.

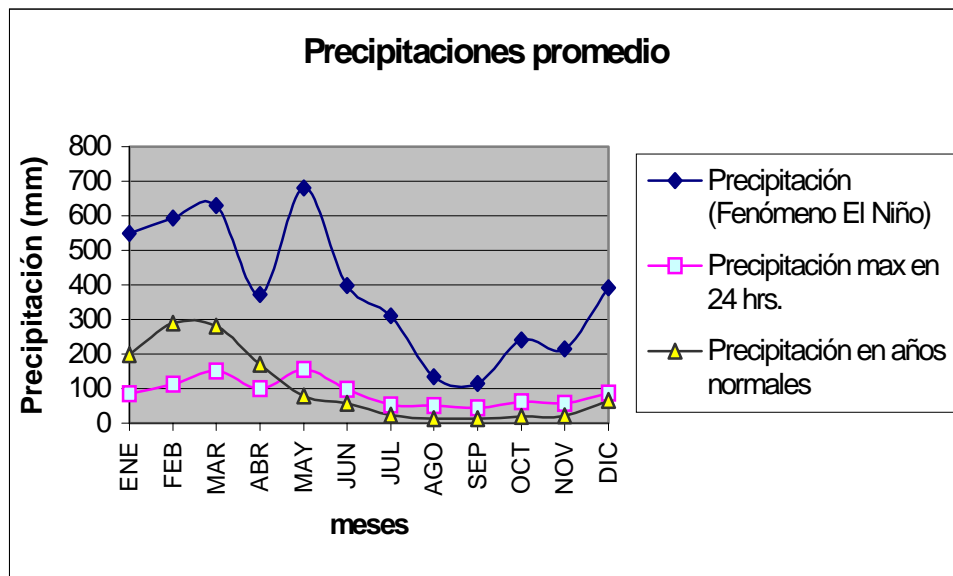
En el sector estudiado las precipitaciones presentan variaciones mensuales, en períodos lluviosos normales y extraordinarios como el fenómeno el Niño.

En datos tomados en las estaciones Calceta y Chone durante los años 1962 a 1994, se encuentra que en el año de 1982 se produjo un Niño, luego de lo cual ocurrió un período normal de precipitaciones, lo cual se demuestra en la siguiente tabla de datos del INAMHI.

TABLA 1.2.1
PRECIPITACIONES EN EL CANTON TOSAGUA

MES	Precipitación (Fenómeno del Niño)	Precipitación máxima en 24 horas	Precipitación en años normales
ENE	548.7	198.1	84.8
FEB	593	288.6	113.8
MAR	629	280.4	152
ABR	372.9	171.1	101
MAY	681.6	77.7	154.6
JUN	398.5	58	98.4
JUL	310.1	24.3	54.2
AGO	133.8	13.1	50.8
SEP	114.5	12.1	44.6
OCT	240.9	18.7	61.4
NOV	215.8	20.6	56.6
DIC	391.3	66.7	87.5

GRAFICO 1.2.1
PRECIPITACIONES PROMEDIO EN EL CANTON TOSAGUA



También existe como información mensual las precipitaciones ocurridas durante los años 1992, 1993 y 1994, lo cual se presenta en las tablas de distribución temporal de precipitación y sus gráficas que se muestran en el Anexo Hidrología.

Si hacemos las consideraciones por estaciones, la estación lluviosa se presenta desde enero a abril teniendo como precipitación acumulada es el 73% del total anual, mientras que en la temporada menos lluviosa de mayo a diciembre precipita el 27 % restante.

Es importante anotar para efectos de la presente tesis que han existido y

pueden existir períodos relativamente largos de sequía, en los cuales las precipitaciones prácticamente no se han hecho presentes en varios períodos mensuales, lo que es más, ha habido períodos considerados secos. A este detalle se adiciona el hecho de que las dos estaciones de donde procede la información están ubicadas muy cerca al sector más húmedo de la cordillera costera, es decir, Tosagua es ocasionalmente más seca que Chone y Calceta.

1.2.4 GEOLOGIA

1.2.4.1 Geología Regional.

La región costera del Ecuador, dentro del punto de vista geológico está limitada al oeste por la Cordillera de Los Andes, al sur por el Arco Volcánico Macuchi Cordillerano, hacia el oeste por el basamento ultrabásico de fondo marino que también puede ser considerado de la formación Macuchi y que solo aflora en ciertos sitios de esa parte de la costa ecuatoriana.

Se considera que existe una gran sutura denominada falla Guayaquil – Babahoyo – Santo Domingo y que probablemente se continúa hasta Colombia y Venezuela. Esta estructura geológica sería un límite de las estructuras que se encuentran en las diferentes cuencas de la costa del Ecuador. De esta forma se encuentra que en la costa norte y central del Ecuador afloran rocas de la formación Piñón, que son basaltos de edad cretácica, y principalmente se

tienen cuencas sedimentarias, al sur la cuenca Progreso, en la parte central la cuenca alargada de Manabí, y la cuenca Borbón al norte, que contiene rocas sedimentarias de poca edad.

Estratigrafía:

La sucesión estratigráfica detallada difiere en cada una de las principales cuencas. El control tectónico de la sedimentación ha sido importante especialmente en la cuenca Progreso donde rocas aloctonas emplazadas durante el Eoceno Superior podrían posiblemente estar relacionadas con aquellas de la cuenca Talara ubicada en el Noroeste del Perú (Feinenger y Bristow en 1980). El basamento volcánico y la secuencia del Cretácico Superior, como también la cobertura Cuaternaria son más o menos uniformes en toda la Costa; la sucesión Terciaria dentro de la cuenca del ante - Arco (situada entre la línea de costa y la cordillera occidental de los andes) varía considerablemente entre los centros de depósitos individuales.

En el Anexo de Geología se incluye la columna estratigráfica del terreno del cantón Tosagua.

1.2.4.2 Geología Local.

Dentro de la zona de nuestro interés, podemos encontrar principalmente la formación Tosagua cuya descripción es la siguiente:

Se encuentra emplazada entre las cuencas Progreso y Manabí y descansa discordantemente sobre el Complejo Santa Elena (Progreso) y también sobre la Formación San Mateo (Manabí). La formación está dividida en tres miembros, o grupos litológicos, el más antiguo de las cuales está restringido de estos miembros solo se encuentra en la cuenca Progreso. En la cuenca Borbón la formación Tosagua adopta el nombre de Formación Viche. Los miembros se definen litológicamente así:

Miembro Zapotal.- Está expuesto alrededor de las márgenes de la cuenca Progreso, el Miembro Zapotal consiste de conglomerados basales, areniscas y lutitas sobrepasando los 1000 metros de espesor. La fauna (principalmente moluscos) indica una edad Oligoceno Superior a Mioceno Inferior (Bristow y Hoffstetter, 1977).

Miembro Dos Bocas.- El Miembro Dos Bocas comprende la mayoría de la Formación Tosagua: descansa gradacionalmente sobre las Arenas Zapotal alrededor de la margen de la cuenca Progreso pero puede ser parcialmente equivalente en el centro; en la cuenca Manabí sobreyace discordialmente la Formación San Mateo. Las Dos Bocas consiste principalmente de lutitas de color chocolate, localmente con otras litologías (limolitas, areniscas, bentonita) y alcanza un espesor máximo de 2400 metros en la cuenca Progreso y 1000 metros en la Manabí. La edad varía entre Mioceno Inferior a Medio (Zonas

N5-13 de Blow, 1969) (Brislow y Hoffstetter, 1977). En la cuenca Progreso está sobreyacida transicionalmente por el Miembro Villingota (lutitas blancas) y donde ésta es ausente por la secuencia más arenácea y limosa Subibaja que forma la parte inferior de la Formación Progreso, pero que se le puede correlacionar en parte con la Formación Tosagua, ya que también parece ser del Mioceno Medio. En Manabí el Miembro Dos Bocas está sobreyacida por el Miembro Villingota o por la Formación Onzole del Grupo Daule.

Miembro Villingota.- Consiste de lutitas laminadas diatomáceas con un color blanco de meteorización, variando de 250 – 650 metros de espesor, sobreyace transicionalmente a las lutitas “chocolate” del Miembro Dos Bocas. La abundante micro fauna indica una edad Mioceno Inferior a Medio (N6 – 13 de Blow, 1969: Ver Bristow y Hoffstetter, 1977). En la cuenca Progreso la parte superior empieza a tornarse más limosa y arenosa (facies Subibaja) pero aún contiene delgados horizontes de lutitas blancas. En la cuenca Manabí estas lutitas típicas fueron previamente incluidas dentro de la secuencia Charapotó, un término antes usado para describir a las lutitas Villingota y a sectores de la sobre yacente Formación Onzole.

En el área de interés se encuentran los miembros Dos Bocas y Villingota de la formación Tosagua, observándose un predominio de rocas lutitas.

En el Anexo Geología, se puede encontrar un plano con las Formaciones Geológicas del cantón Tosagua.

1.2.5 CLIMA.

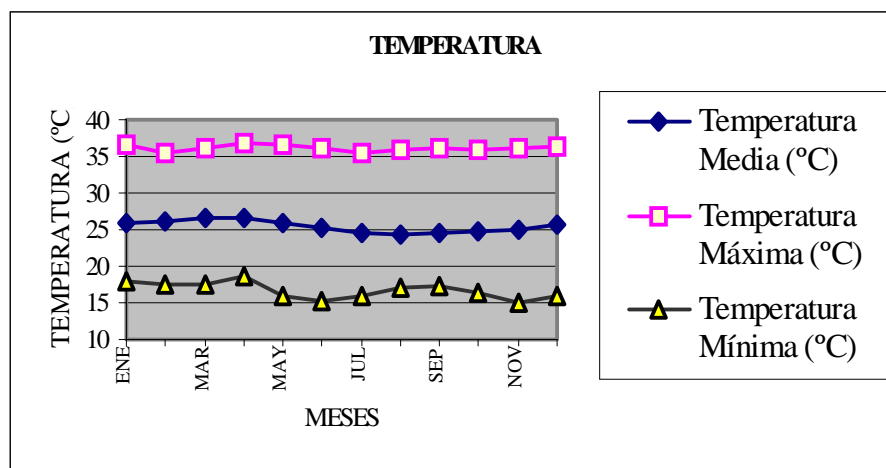
En general el clima es cálido húmedo en los períodos lluviosos y seco con baja humedad en los períodos de sequía que pueden presentarse en ese sector de Manabí.

La estación base seleccionada para el cálculo de los parámetros meteorológicos del área de estudio es la estación Calceta (M - 164) que tiene las coordenadas 80° 10' de Long. Occidental y 00° 51' de Latitud Sur, a 15 Km de Tosagua. La altitud de la estación es de 58 msnm.

Temperatura.- Presenta relativamente pocas variaciones ya que puede encontrarse entre un valor máximo de 37° C en la época de precipitaciones y un mínimo es 15° C cuando no existen precipitaciones significativas.

GRAFICO 1.2.2

TEMPERATURA EN EL CANTON TOSAGUA.



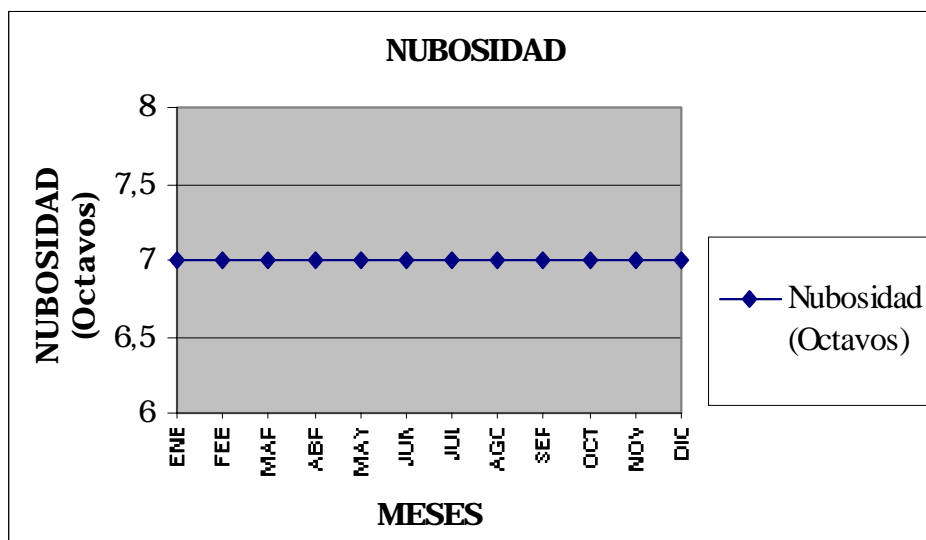
Se determina que el valor promedial de temperatura en el cantón Tosagua es de 26.1° C.

Humedad relativa del aire.- En general la humedad relativa se mantiene bastante constante a lo largo del año teniendo como valor medio interanual un 77%, siendo el valor más alto que se ha registrado hasta de un 81% en época lluviosa y el más bajo de un 73% cuando existe carencia de lluvias.

Nubosidad.- No existe definición en cuanto a este elemento, y el valor puede ser el mismo tanto en el invierno como en el verano. En general a lo largo del año se mantiene una nubosidad de alrededor de 7 octavos.

GRAFICO 1.2.3

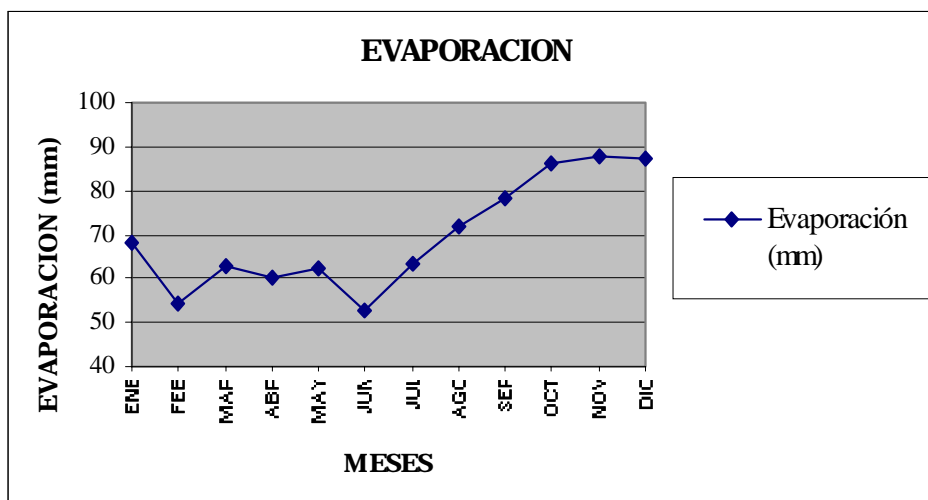
NUBOSIDAD EN EL CANTON TOSAGUA



Evaporación.- Este factor resulta un poco más variable dependiendo de la estación del año en análisis, la máxima evaporación mensual que se ha registrado es de 102 mm con una mínima de 54 mm.

GRAFICO 1.2.4

EVAPORACION EN EL CANTON TOSAGUA



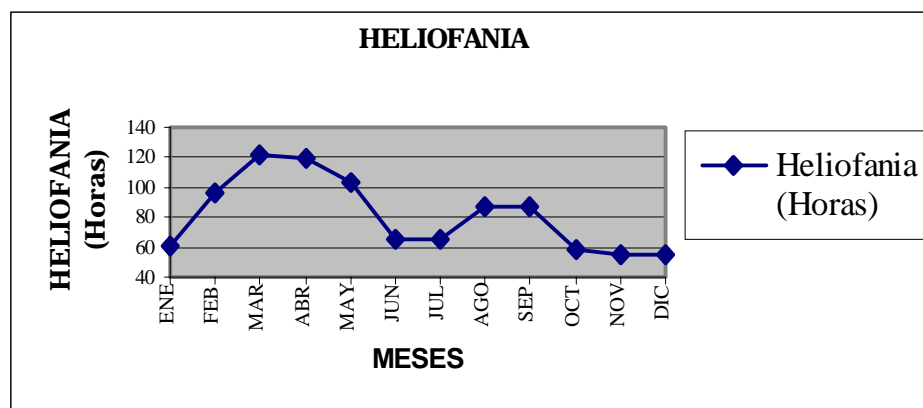
Vientos.- El viento no tiene valores significativos de velocidad, y en general la velocidad media mensual fluctúa entre 1.4 m/s y 1.7 m/s siendo el valor medio que se presenta de unos 1.6 m/s.

La dirección predominante del viento es de Norte a Sur. Se pueden tener ráfagas entre 8 y 12 m/s.

Heliofania.- Las horas de brillo solar llegan hasta a 1038 al año, ubicándose durante la estación invernal la mayor cantidad de horas de brillo solar.

GRAFICO 1.2.5

HELIOFANIA EN EL CANTON TOSAGUA.



1.3 DESCRIPCION DE LOS DAÑOS OCURRIDOS.

1.3.1 INFORMACION PREVIA.

A continuación se presenta una descripción de los servicios básicos existentes en la población de Tosagua con la finalidad de establecer sus características o dimensiones que permitan valorar posibles daños que han podido y que pueden ocurrir.

Red Vial y Transporte.

La ciudad de Tosagua es prácticamente el centro de comunicación vial entre algunos de los más importantes cantones de la provincia de Manabí como son Chone, Portoviejo, Sucre, Rocafuerte y Bolívar, constituyéndose por lo tanto en paso obligado de interconexión comercial entre estos cantones y de ellos con el resto del país.

Entre las principales vías que posee la ciudad tenemos, la vía Tosagua – Chone, Tosagua – Bahía, Tosagua – Calceta y Tosagua – Rocafuerte – Portoviejo.

El cantón Tosagua tiene una longitud de 24.97 Km de vías urbanas, de las cuales el 23.5% tiene capa de rodadura como asfalto, adoquín y pavimento; el 26.4% es lastrado y el 50,1% es de tierra. Es importante anotar que el 94.5% de las calles no tienen acera.

Existen 5 cooperativas de transporte, una da carga, una mixta (carga y pasajeros), dos de pasajeros de las cuales una es de taxis y otra de transporte intercantonal.

Telecomunicaciones.

El servicio de telecomunicaciones está a cargo de Pacifictel (ex EMETEL), cuenta con una central para 600 abonados, encontrándose en la actualidad 580

líneas contratadas. Si consideramos que el potencial de abonados puede ser de 1450, se puede decir que existe un déficit en el servicio de un 60%. Sin embargo, cabe señalar que con las líneas que se encuentran actualmente funcionando, el servicio es ya bastante deficiente.

Energía Eléctrica.

La Empresa Eléctrica de Manabí (EMELMANABI) es la compañía encargada de suministrar el servicio de energía eléctrica al cantón, según información brindada por la misma empresa, en la actualidad existen 4054 abonados, proyectándose cubrir hasta el año 2005 un máximo de 6500 abonados. En el sector rural del cantón es donde se presenta un déficit de este servicio.

La ciudad de Tosagua tiene una cobertura del 98% en cuanto a este servicio.

Manejo de Desechos Sólidos.

El servicio de recolección de los desechos sólidos del cantón está a cargo de la M. I. Municipalidad del mismo, para lo cual cuenta con un recolector de carga posterior.

Se tiene una cobertura del 70%, estando la ciudad sectorizada, teniendo dos de los sectores servicio diariamente, mientras el resto tan sólo una vez a la semana. La disposición final se la realiza en un botadero a cielo abierto.

Agua Potable.

El Centro de Rehabilitación de Manabí CRM es la entidad que está encargada de dotar de agua potable a la ciudad de Tosagua, para lo cual se vale del sistema regional de “La Estancilla”. El servicio es deficiente por la baja presión y caudal en las redes.

El abastecimiento se realiza de 6 a 7 horas diarias. Las redes tienen una cobertura de 60% en área y del 45% en conexiones domiciliarias. Sin embargo la calidad del agua es buena. No existe diferenciación de categoría de usuario.

Alcantarillado Sanitario.

En 1983, el CRM (Centro de Rehabilitación de Manabí) elaboró los estudios de alcantarillado sanitario del cantón Tosagua, sobre la base de este estudio, fueron construidos varios tramos de red de recolección (aproximadamente un 35% del total), los mismos que se encuentran inconclusos, y no entran en servicio.

El proyecto original contemplaba la construcción de una estación de bombeo y lagunas de oxidación, unidades que nunca fueron construidas. La cobertura del servicio es del 0%, por esta razón existen conexiones sanitarias al alcantarillado pluvial. Quienes no se han conectado ilícitamente al otro sistema descargan las aguas servidas directamente al suelo, a pozos ciegos o a letrinas.

Alcantarillado Pluvial.

Se construyeron un 40% de las redes de recolección, y se tiene una cobertura del 30% en área. Las redes descargan directamente al río Carrizal.

Establecimientos de Salud.

La ciudad cuenta actualmente con un centro y un subcentro de salud para atención ambulatoria, ninguno de los dos locales tiene adecuado equipamiento y carecen de profesionales en odontología, obstetricia y pediatría. Este servicio es totalmente deficiente.

Otros Servicios.

Existen además: retén de policía, mercado municipal, camal municipal, cementerio y cuerpo de bomberos.

1.3.2 DAÑOS EN VIAS Y CALLES.

Estas obras fueron gravemente afectadas por el fenómeno El Niño. El 100% de las vías de tierra fueron completamente destruidas por efecto de la erosión, de colapso de suelo y también de deslizamientos de tierra; este fue un efecto directo del estado en el cual se encontraban dichas vías antes del fenómeno El

Niño pues existían gran cantidad de grietas y materiales sueltos que con las lluvias intensas fueron grandemente afectados.

Del 23% de vías con capa de rodadura se destruyó el 80% de las mismas debiendo dejar constancia de que el mayor daño fue sufrido por las vías de pavimento asfáltico, ya que desapareció totalmente la capa de rodadura y la base y sub-base fueron erosionadas profundamente. Los tramos con adoquinado fueron los que menos sufrieron sin embargo se constató grandes deformaciones y hasta ondulaciones de la calzada.

Las vías lastradas fueron en gran parte sedimentadas con fango lodoso tipo arcillo limoso y en ciertos sitios se constató la incidencia de las corrientes de agua fluyendo sin control, se observaron surcos, zanjas de erosión que cortaban los tramos de la vía.

Es importante recalcar que las fallas más importantes en las vías se debieron a deslizamientos de tierra que hicieron desplazar la calzada en algunos casos y en otros hicieron acumular gran cantidad de materiales deslizados tapando la vía.

1.3.3 DAÑOS EN EL AGUA POTABLE.

El sistema de Agua Potable que de por sí ha sido deficiente, se vio también afectado por el fenómeno El Niño, muchas de las tuberías se

destruyeron por causa del colapso del suelo, por los deslizamientos o por un fuerte proceso expansivo producido al inicio de la estación invernal, dejando sin agua a una buena parte de la población.

Debemos recordar que apenas el 45% de las viviendas cuentan con conexiones domiciliarias y como resultado de los daños ocasionados por el fenómeno El Niño, el 60% de las mismas quedaron sin el servicio.

Inicialmente fueron diseñadas 7 descargas pero solamente dos se encuentran funcionando. De las redes existentes el 44% se encuentran en buen estado.

Ante la falta de servicio continuo de agua potable, la población recurre a la extracción de aguas subterráneas de pozos someros que representa en muchos casos un grave problema sanitario por efecto de la contaminación de aguas servidas.

1.3.4 DAÑOS EN EL ALCANTARILLADO.

Red Sanitaria: Los tramos de red de recolección construidos, se encuentran inconclusos, en contra pendiente y taponados casi en su totalidad.

Red Pluvial: En épocas de lluvia el río sube de nivel y las descargas dejan de funcionar produciéndose inundaciones, a este hecho se debe agregar que en la parte baja de la ciudad el nivel freático se encuentra casi superficial.

Producto de las inundaciones y los taponamientos, se produjo la proliferación de malos olores, se destruyeron productos en los diferentes locales comerciales, y los comerciantes en general tuvieron que cerrar sus locales produciéndose millonarias pérdidas, tanto particulares como para el cantón en general.

Las crecientes del río Carrizal han inundado continuamente la ciudad de Tosagua, la cota de inundación del río se encuentra sobre la altura media de la zona plana de la ciudad y sobrepasa el nivel de las alcantarillas de drenaje, por esta razón el sistema de alcantarillado pluvial no puede evacuar y las aguas recolectadas regresan e inundan las calles. Como se indicó antes, existe una gran cantidad de conexiones sanitarias en el alcantarillado pluvial, por lo que en las calles inundadas se encuentra la presencia de aguas servidas, un ejemplo de esta situación se observa en el parqueadero del edificio municipal. Además de los peligros latentes para la salud que conlleva la contaminación por aguas servidas y los malos olores que se producen, la población utiliza el agua retenida en las calles para lavado de vehículos y otros objetos.

Las inundaciones del río Carrizal se agravan por cuanto se ha ocupado parte del cauce superior del río en la construcción de vías que actúan como verdaderos diques y que por tanto hacen elevar el tirante de las aguas. Este caso se tiene en el by pass (construido a lo largo de la orilla del río).

Otro problema de drenaje se tiene por causa de la existencia de la vía Chone – Portoviejo (atraviesa la ciudad en sentido norte – sur) la misma que actúa como dique de las aguas que normalmente drenaban al cauce del río.

Debido a que gran parte de las viviendas utilizan letrinas y pozos ciegos para las descargas de las aguas servidas, las inundaciones, provocadas tanto por los caudales del río Carrizal como por las deficiencias de drenaje de aguas lluvias, provocan un grave problema sanitario que se suma al anteriormente descrito.

1.3.5 DAÑO EN LA ENERGIA ELECTRICA Y COMUNICACIONES.

Los servicios de energía eléctrica y comunicaciones resultaron también afectados por el Fenómeno El Niño, la comunicación y la luz se cortaron por largos períodos producto principalmente de la caída de postes y roturas de cables. Estas fallas de los sistemas se produjeron por el colapso del suelo, por el movimiento de las masa de suelo (deslizamiento) y en varios casos debido a los grandes esfuerzos expansivos que se desarrollaron en el suelo al absorber humedad luego de un periodo de sequía.

Es importante señalar que constatamos que un solo deslizamiento había provocado el desplazamiento de varios postes y por efectos de la tensión de varios cables, se arrancaron.

CAPITULO 2

INVESTIGACION DE LAS CAUSAS

DE LOS DAÑOS

2.1 INCIDENCIA DE LOS ASPECTOS TOPOGRAFICOS Y DE DRENAJE.

La Topografía que es la forma superficial del terreno o también el relieve constituye uno de los aspectos más importantes cuando se trata de terrenos blandos (suelos y rocas) como los que se encuentran en el sector de Tosagua. En condiciones naturales esto es con vegetación estabilizadora, sin acciones antrópicas los terrenos son estables y muy rara vez existen los fenómenos geodinámicos los afectan.

Tosagua está construida sobre pequeñas colinas y depresiones que se encuentran en el inicio de una gran llanura que es inundable, por esta razón quienes fundaron Tosagua seguramente se decidieron por las partes más elevadas, para evitar los problemas que se derivan de las inundaciones.

En el sector sólo que se ha construido una población con su infraestructura sino también se ha hecho pasar vías importantes para la conexión con otras poblaciones. La construcción de gran cantidad de obras ha hecho que prácticamente la topografía sea modificada, efectuando cortes, rellenos y sobre todo dejando taludes peligrosos.

Cuando se realizan los estudios de estabilidad de taludes se establece que uno de los parámetros más incidentes en dicho análisis, es la altura de los mismos,

es decir, la cota del pie y la cota de la corona, pero adicionalmente tiene especial importancia la pendiente de los taludes y de las laderas. Por esta razón la topografía actual de los terrenos en Tosagua tiene gran importancia cuando se realizan los estudios diseños y construcción de obras y también cuando se busca solucionar los daños causados por los fenómenos geodinámicos, tal el es el caso del Fenómeno El Niño.

En términos generales se puede establecer que los taludes altos y de pendiente poco inclinada son inestables. Las pendientes de terreno muy largas, presentan condiciones para que se desarrollen los fenómenos de erosión por causa de la acumulación de caudales que actúan literalmente como una pelota de nieve que crece cuando más avanza. Esto nos lleva a pensar que los parámetros topográficos son importantes tanto en los estudios como en los diseños.

Dentro de las modificaciones topográficas que se encuentran en Tosagua se tiene la vía denominada by pass que fue construida al pie de una pendiente suave; el drenaje que ocurría anteriormente sin obstáculos hasta llegar al río Carrizal, actualmente la existencia de dicho terraplén provoca el embalsamiento de las aguas lluvias con problemas de erosión y de inestabilidad en general.

En concordancia con lo antes planteado se ha encontrado que numerosos deslizamientos se presente en los taludes de la carretera y también en el interior de la población.

2.2 INCIDENCIA DE LA GEOLOGIA.

Como se ha mencionado anteriormente, la ciudad de Tosagua se encuentra principalmente sobre la formación llamada Miembro Dos Bocas, formado principalmente por lutitas (arcillolitas limosas) de color café - chocolate, laminares o en bloques, con concreciones calcáreas habanas y ocasionalmente con contenidos de yeso asociado a las fracturas, en zonas de deslizamiento de carretero, se pudo observar limolitas, areniscas y bentonitas.

Se pueden apreciar bloques métricos con aspecto de concreciones de estratos discontinuos asumiendo formas lenticulares siendo estos productos de deslizamientos.

Las arcillolitas se alteran con colores rojo - amarillentos resultantes de la descomposición de yeso.

Este tipo de depositación, es típica de cuencas cerradas, encontrándose la mayor potencia en el centro de la cuenca.

Los materiales predominantes de la zona son lutitas y arcillas de color café, mezclados con diferentes minerales, e intercalados eventualmente por estratos pequeños de bentonita.

En Tosagua existen grandes áreas de inundación y los materiales de la zona son muy susceptibles a sufrir cambios al entrar en contacto con agua. Este tipo de cambios han provocado varios deslizamientos de diversa magnitud, muchos de los cuales están activos y requieren un tratamiento inmediato para prevenir que atenten contra la seguridad de la población.

En el Anexo Geología se puede encontrar un esquema con la ubicación de los principales deslizamientos observados.

Además de los problemas por deslizamientos que se pueden encontrar existen otros tipos de obras duramente afectadas por el comportamiento de los suelos como son muros completamente volteados y edificaciones con múltiples fracturas, causadas por la posible fuerza de expansión que pueden presentar las arcillas que como se mencionó son el material predominante de la zona.

Es importante señalar que este tipo de suelo una vez saturado presenta por lo menos aparentemente características bastante buenas para la construcción, pero también se debe considerar que es de suma importancia tener en cuenta la incidencia de los cambios en cuanto a períodos de precipitación, y los largos períodos de sequía a los que está expuesto el cantón Tosagua.

2.3 INCIDENCIA DE LAS PRECIPITACIONES Y PERIODOS DE SEQUIA.

Como se mencionó en el Capítulo 1, en el cantón Tosagua han existido y pueden existir períodos relativamente largos de sequía, durante los cuales las precipitaciones no se han hecho presentes durante varios meses, existiendo incluso períodos considerados totalmente secos, esta situación amerita un análisis especial pues si bien es cierto durante el recorrido y la toma de muestra se notó que el suelo tenía un alto contenido de humedad, no es muy difícil pensar que dicho contenido de humedad debe bajar considerablemente durante los períodos de sequía.

Si nos basamos en esta hipótesis, y en el hecho de que las arcillas de Tosagua son consideradas expansivas, podemos decir que durante las épocas de lluvias las arcillas son completamente saturadas y todo tipo de obra construida aun después de algún tiempo de haber terminado el período de lluvia, queda aparentemente en perfectas condiciones, sin embargo, que ocurre si se presenta un período largo durante el cual las lluvias son muy escasas o incluso no se presentan para nada, lo más probable es que las arcillas pierdan su contenido de humedad y este descienda a niveles muy bajos, lo cual produciría que al presentarse nuevamente un período lluvioso, el material se expanda con tal fuerza que destruya todo tipo de obra que se encuentre sobre él.

En el Anexo Hidrología se observa claramente la diferencia que existe entre un período normal de lluvia como en los años 1992, 1993 y 1994 y un año en que se haya presentado el Fenómeno El Niño, en años normales la estación lluviosa se presenta de enero hasta abril teniendo como precipitación acumulada el 73% del total anual, mientras que en la temporada menos lluviosa de mayo a diciembre precipita el 27% restante y aún de este porcentaje la mayoría precipita durante los meses de mayo, junio, julio y diciembre quedando los meses desde agosto hasta noviembre prácticamente secos y algunos años llegando a carecer totalmente de lluvias.

Debe señalarse además que el problema durante los años que se presenta el Fenómeno El Niño se acrecienta aún más con las crecidas del río Carrizal que como ya fue descrito provoca que buena parte del cantón quede totalmente inundada complicándose el problema no solo por la influencia que tiene el agua en los materiales de la zona, sino también por la serie de problemas de orden sanitario y de alcantarillado que tiene la ciudad.

Los períodos de lluvia y en especial durante la presencia del Fenómeno El Niño hacen fácil presa de las diferentes vías que atraviesan la ciudad puesto que como ya se ha mencionado apenas un pequeño porcentaje de las mismas poseen capa de rodadura (siendo afectadas estas por el comportamiento del suelo al entrar en contacto con el agua lo que destruye en muchos casos dicha

capa), mientras que el resto son apenas lastradas o se trata de caminos de tierra que con la presencia de las inundaciones quedan completamente destruidas.

Otro factor que se encuentra también afectado por las estaciones lluviosas y la presencia del Fenómeno El Niño es el de los deslizamientos pues es precisamente durante estas épocas en que cobran mayor fuerza y se presentan con mayor frecuencia.

En el Anexo Geología se puede encontrar un esquema de ubicación de los principales sectores que son sometidos a inundación durante la época lluviosa.

2.4 INFLUENCIA DEL COMPORTAMIENTO GEOTECNICO.

El subsuelo de los sectores estudiados está caracterizado por la presencia de limos y principalmente por arcillas de plasticidad media a alta de los tipos **MH, CH, MH/CH Y ML/CL.**

Los suelos se presentan muy húmedos a saturados en toda la profundidad investigada, variando su coloración desde café claro a verde amarillento.

En nivel friático fue detectado en los sectores investigados a profundidades que varían desde 0.35 a 6.10 metros de profundidad, dato que podría justificar de cierta forma el estado de humedad y saturación que presentaban los suelos.

Cabe señalar que bajo este estado de humedad y saturación no es probable que los suelos experimenten cambios de volumen, lo cual indicaría que los suelos no experimentarían expansión en el estado en que fueron encontrados, sin embargo, es bastante seguro que dado los períodos de sequía a los que suele estar sometido el cantón dicha saturación no se mantenga en cuyo caso sería posible que al secarse la muestra si se sometan a un proceso de expansión.

Como se mencionó anteriormente durante el recorrido por el sector se pudieron apreciar la existencia de varios deslizamientos activos dentro de la zona urbana.

Estos deslizamientos, por su magnitud y ubicación presentan un grave riesgo para la población, por lo que lo más recomendable sería realizar un estudio más detallado de las posibles soluciones a dichos deslizamientos.

2.5 DETERMINACION DE LAS CAUSAS DE LOS DAÑOS.

Para analizar los daños ocurridos se han considerado diferentes parámetros y aspectos dentro de lo que se denomina la búsqueda de información en los estudios básicos tales como la topografía, la geología y la hidrología (precipitaciones).

Un análisis global de los problemas ocurridos puede ser realizado aplicando criterios geotécnicos, de allí que podemos establecer una clasificación general de las causas de los daños ocurridos:

Ablandamiento de los terrenos.- Sin lugar a dudas esta ha sido una característica dominante dentro de las causas de los daños. Tal como se ha analizado se han tenido problemas de expansión en gran medida y también fenómenos de erosión tanto superficial como sub – superficial en los terrenos laderosos del sector de Tosagua. El ablandamiento incluye también la pérdida de propiedades por la acción ambiental conocido también como la alterabilidad en las rocas blandas.

Deficiencias en el drenaje.- Esta situación se ha evidenciado en forma enfática durante el fenómeno El Niño cuando se han producido flujos de caudales erráticos y turbulentos y en otros casos cuando se han tenido embalsamientos que luego después han cedido por las presiones del agua y la falla de los terrenos inundados.

Deficiencias en el diseño y construcción de los pavimentos de vías.- Es evidente que casi todas las calzadas fueron afectadas y de un modo más enfático aquellas calzadas en las cuales el agua penetraba libremente y causaba la erosión en el pie de los cortes o taludes. De igual forma la constitución de

terraplenes, utilizando préstamos de suelos expansivos, sin ningún tratamiento especial.

Deficiencias en la construcción de las obras básicas.- En este caso nos referimos exclusivamente al sistema de agua potable el cual falló tanto en la obra de toma, la de almacenamiento y la distribución. Estas obras fueron muy afectadas por el fenómeno expansivo y también por las erosiones violentas de los terrenos.

Falta de planificación en la ejecución de obras.- Se constata la ejecución de diferentes trabajos de movimiento de tierra (excavaciones y relleno) que no han considerado las muy probables acciones de los fenómenos climáticos como El Niño, tampoco se ha considerado la posibilidad de que ocurran grandes sismos los cuales también podrían afectar gravemente a las obras ya que están construidas sobre terrenos muy blandos y de comportamiento cambiante.

La inexistencia de alcantarillado de agua servidas.- Esto ha dado lugar a que en la población existan cientos y hasta miles de letrinas, que constituyen excavaciones que sobrepasan los 3 metros de profundidad, las cuales constituyen en tiempos de lluvia, receptáculos de caudales de agua que luego

se infiltran en forma muy irregular, modificando totalmente la condición natural del drenaje subsuperficial de las laderas.

CAPITULO 3

INVESTIGACION DE LAS CONDICIONES MEJORADAS

3.1 TRABAJO DE CAMPO.

El trabajo de campo realizado puede ser dividido en tres etapas que se describen a continuación:

PRIMERA ETAPA:

Consistió en un recorrido que se efectuó en la zona de estudio en el cual se realizaron varias observaciones in situ, entre ellas, las variaciones litológicas, las estructuras geológicas dominantes, la presencia de accidentes y manifestaciones diversas del comportamiento de suelos y rocas, especialmente en los sitios donde existen obras construidas.

Se observaron pequeñas fracturas asociadas a fallas principales, estas fracturas se pueden considerar secundarias y se encuentran en su mayoría cubiertas por depósitos recientes.

Las observaciones también se realizaron en áreas contiguas al cantón Tosagua el objetivo fue constatar las diferencias que existen entre los miembros de la Formación geológica del sector (Tosagua). De esta forma se constató la existencia del contacto entre el Miembro Dos Bocas y el Miembro Villingota, en Rocafuerte, Chone y en toda la misma población de Tosagua, por lo que se describe a continuación:

Se encuentran afloramientos del Miembro Dos Bocas a unos 150 metros al noroeste de la población, en el carretero a Bahía de Caráquez en un sitio donde ha ocurrido un deslizamiento. También se encuentra el Miembro Dos Bocas en la Iglesia la misma que está en proceso de destrucción, también en el sitio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable.

Se observa que en el Miembro Dos Bocas existen lutitas de color chocolate, laminadas muy fracturadas (principalmente fracturas de meteorización, pero también de origen tectónico). Los estratos son finos, de pocos centímetros de espesor (muy poco consistentes), son subhorizontales, que presentan fracturadas a veces rellenas con yeso, también con óxidos de hierro, los que confieren el color café chocolate a las rocas, también se tienen pequeñas cantidades de óxido de manganeso.

Se constató que en ciertos afloramientos del Miembro Dos Bocas existe bentonita explotable comercialmente.

En el Anexo Geología se puede encontrar un plano de ubicación de los principales afloramientos, los mismos que son resumidos a continuación:

Afloramiento No. 1:

Roca fresca:	Café oscuro.
Roca meteorizada	Chocolate.
Componente predominante:	Limo arcilloso.

Textura:	Fina y algo compacta.
Porosidad :	mediana a baja
Permeabilidad:	Impermeable.
Minerales accesorios:	Óxidos de hierro y manganeso.
Fósiles	Foraminíferos.
Estructura sedimentaria:	Estratos centimétricos y fracturados.
Elemento estructural:	Estratificación subhorizontal.

Afloramiento No. 2:

Roca fresca:	Café oscuro a gris.
Roca meteorizada:	Chocolate.
Componente predominante:	Arcilloso.
Textura:	Fina y compacta.
Porosidad :	mediana a baja
Permeabilidad:	Impermeable.
Minerales accesorios:	Oxidos de hierro y manganeso, yeso y azufre.
Fósiles	Foraminíferos.
Estructura sedimentaria:	Estratos decimétricos y fracturados.
Elemento estructural:	Estratificación subhorizontal.

Afloramiento No. 3:

Roca fresca:	Gris.
Roca meteorizada:	Chocolate.
Componente predominante:	Arcillas y limos.
Textura:	Fina, compacta y homogénea.
Porosidad :	Mediana a baja

Permeabilidad:	Impermeable.
Minerales accesorios:	Oxidos de hierro y manganeso y yeso.
Fósiles:	Foraminíferos.
Estructura sedimentaria:	Estratos centimétricos y fracturados.
Elemento estructural:	Estratificación subhorizontal.

Afloramiento No. 4:

Roca fresca:	Gris claro.
Roca meteorizada:	Chocolate.
Componente predominante:	Arcillas.
Textura:	Fina, compacta y homogénea.
Porosidad:	Mediana a baja
Permeabilidad:	Impermeable.
Minerales accesorios:	Óxidos de hierro y manganeso y yeso.
Fósiles:	Foraminíferos.
Estructura sedimentaria:	Estratos centimétricos y fracturados.
Elemento estructural:	Estratificación subhorizontal.

SEGUNDA ETAPA:

Consistió en el análisis de la información técnica disponible en el Municipio de Tosagua. La información de mayor interés es la que se extrajo de un estudio efectuado por una empresa consultora, luego de que terminó el último fenómeno El Niño.

Como parte de dicha consultoría se efectuaron calicatas y perforaciones a percusión hasta profundidades variables entre 4.5 y 10.5 m, tomando muestras inalteradas, también alteradas y ejecutando el ensayo de penetración estándar, registrando el número de golpes, en las diferentes capas. Este trabajo se ha efectuado especialmente en los sitios de obra del sistema de agua potable.

Los sitios de prospección se muestran en el Anexo Geología, en tanto que los registros de perforación, ensayos in situ y de laboratorio se presentan en el Anexo Perforaciones.

A partir de la actividad mencionada en este párrafo se efectuó el plan de investigaciones de prospección geotécnica para la presente tesis.

TERCERA ETAPA:

El trabajo de prospección geotécnica de campo se efectuó de la forma siguiente:

Se identificaron los sitios en los cuales las obras habían sido afectadas, en diferente grado por el fenómeno el Niño, se puso especial énfasis en los sitios en donde las obras fueron destruidas. Se realizaron calicatas en las obras o junto a ellas; en el caso de los pavimentos dañados, se realizaron excavaciones en la misma calzada.

Se efectuaron calicatas y perforaciones manuales hasta 2 metros de profundidad utilizando como procedimiento de muestreo de los suelos, el hincado de tubos Shelvy en las capas características.

Los tubos Shelvy fueron parafinados para mantener el contenido de humedad de cada muestra y embalados debidamente para el viaje hasta los laboratorios de la Facultad ICT de la ESPOL.

Un plano de ubicación de los sitios de muestreo (calicatas) se puede encontrar en el Anexo Geotecnia.

3.2 TRABAJO DE LABORATORIO.

Con las muestras recuperadas durante el tiempo que duró el trabajo prospección de campo, se realizaron primeramente los siguientes ensayos:

Contenido de Humedad	ASTM D - 2216
Granulometría por lavado	ASTM D - 422
Límites de Atterberg	ASTM D - 4318

Los resultados obtenidos en estos ensayos, sirvieron para clasificar a los suelos de acuerdo al Sistema Unificado SUCS y al sistema de la ASSHO determinándose que los suelos son principales arcillosos y limo arcillosos de alta plasticidad.

Los ensayos de contenido de humedad determinaron que todas las muestras tenían un contenido de humedad relativamente alto del orden del 30%.

Al efectuar los ensayos de expansión se determinaron que los valores máximos de Presión de Expansividad están en el orden de las 12 T/m² que corresponde a un 10 % de Deformación Unitaria de Expansión.

La mitad de las muestras obtenidas, presentan una Deformación Unitaria de Expansión sobre el 3% y la otra mitad bajo el 3%; estos datos obtenidos señalan el hecho aparente de que las muestras no son tan expansivos y esto contrasta con la información que se tiene sobre los suelos y rocas blandas de Tosagua.

Las cinco muestras más expansivas dieron los siguientes resultados:

TABLA 3.2.1
RESULTADOS DE LA EXPANSION CON HUMEDAD NATURAL

MUESTRA	ESTADO	% w	Def. (%)	P. (T/m²)
6	Natural	30	10.78	11.00
7	Natural	37	3.14	6.63
8	Natural	27	5.56	8.05
9	Natural	28	7.00	11.37
10	Natural	32	6.00	8.53

En la revisión de la información existente, lo más reciente es el informe elaborado por la empresa GEOSUELOS de Quito, para la M. I. Municipalidad de Tosagua, en dicho trabajo profesional se señala que los suelos no estarían caracterizados por su alta expansividad (estos resultados constan en el Anexo Geotecnia).

Si se considera las primeras informaciones obtenidas en la presente investigación y las obtenidas por los consultores mencionados podría concluirse que los suelos de Tosagua, tienen poca expansión y hasta decirse que no son expansivos, sin embargo, debemos remitirnos necesariamente a la influencia que tiene el clima y específicamente la presencia de precipitaciones y los períodos de ausencia de lluvias.

Si se tomaran las muestras luego de largos periodos de sequía, evidentemente, los contenidos naturales de humedad de los suelos podrían ser mucho menores y obviamente que los suelos, secos, ávidos de agua podrían tener una expansión mucho mayor; prueba de ello constituye, los grandes daños que han sufrido las obras del sector y que han sido afectadas por el Fenómeno El Niño. Este hecho fue demostrado en esta Tesis cuando se procedió a secar las muestras y se obtuvieron valores de expansión bastante mayores, en las mismas muestras ensayadas con la humedad registrada al momento del muestreo.

De todo esto, se podría formular una primera deducción práctica que tiene que ver con la incidencia de los procedimientos y circunstancias de la investigación geotécnica en los parámetros geomecánicos de los terrenos del sector de Tosagua están influidos directamente por el periodo de años en que se realiza el muestreo, pero más aún cuando acontecen eventos meteorológicos extraordinarios, con precipitaciones continuas durante más de doce meses.

Con la presencia de las lluvias en largos períodos, los suelos no sólo captan gran humedad, con lo cual se expanden, se erosionan, etc., si no que también forman parte de un sistema hidrogeológico con la presencia del nivel freático y la circulación de aguas subterráneas, con lo que pueden presentarse fenómenos de tubificación y sifonamiento, que agravan más su comportamiento geomecánico posterior.

La presente investigación se ha orientado de un modo especial al estudio del fenómeno de la expansividad, para lo cual, luego de realizadas las investigaciones normales, con las muestras a la humedad al día del muestreo, se han simulado la condiciones naturales y tal como ya se mencionó, se secaron las muestras previo a la ejecución de los ensayos.

Las muestras ensayadas luego del secado dieron resultados espectaculares de expansión; en ensayos efectuados en cinco muestras la Presión de Expansividad mínima fue del orden de 14 Ton / m², la más alta llegó a 50 Ton/m². La Deformación Unitaria creció hasta 14% en los valores más bajos y en los más altos hasta un 30%. Estos resultados demuestran que los suelos estudiados son de muy alta expansividad.

En el cuadro siguiente presentamos los resultados obtenidos en algunas de las muestras más expansivas una vez que fueron secadas:

TABLA 3.2.2
RESULTADOS DE EXPANSION CON MUESTRAS SECAS

MUESTRA	ESTADO	Tipo de ag.	% w	Def. (%)	P. (T/m2)
6	Secada	Dulce	10	14.04	14.21
6	Secada	Salada	10	15.20	15.79
7	Secada	Dulce	13	27.58	37.89
8	Secada	Dulce	13	21.28	53.05
8	Secada	Salada	12	20.45	30.31
9	Secada	Dulce	14	25.46	36.00
9	Secada	Salada	13	25.08	26.52

3.3 UTILIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.

En las investigaciones realizadas en los terrenos de Tosagua, se ha determinado que uno de los parámetros más incidentes en el comportamiento de los suelos y rocas haciéndoles perder sus propiedades constituye el flujo de agua tanto superficial como subsuperficial, generando en muchos casos comportamientos cíclicos como lo son la expansión y la contracción de los terrenos expansivos. Siendo este el problema a resolver, la propuesta que se hace en la presente tesis consiste en general en realizar el control de la acción del agua es decir evitar el flujo y la infiltración. Por ejemplo en el caso de las vías y calles se debe impedir la infiltración longitudinal y transversal del agua en los suelos con reacción expansiva.

Si existen obras donde se hace muy costoso lograr la impermeabilización, se podrá proceder a los tratamientos para bajar la expansión, de allí que se podrá utilizar materiales como cal, arena, agua de mar para realizar los cuerpos de terraplenes y para tratar los suelos y o rocas en los niveles de cimentación.

Muchas obras como las escalinatas, aceras, bordillos, podrán ser construidas utilizando barreras impermeables como las geomembranas. Los taludes podrán ser protegidos cambiando su geometría y revistiéndolos con sueros arcillosos, impermeables en los cuales se pueda sembrar vegetación, para contrarrestar el efecto de erosión de los suelos.

CAPITULO 4

PROPUESTA DE SOLUCIONES

4.1 SOLUCIONES DE ESTABILIZACIÓN EN LADERAS Y TALUDES.

De la revisión de la información técnica existente, para estudios de las arcillas y lutitas expansivas se desprende que tanto los suelos como las rocas meteorizadas tienen parámetros del cortante bajos a muy bajos. En el siguiente cuadro se presentan datos para valorar aproximadamente la resistencia al cortante de los materiales a Tosagua:

**TABLA 4.1.1
PARÁMETROS DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE**

TIPO DE TERRENO	DENSIDAD (Ton / m³)	COHESIÓN (Ton / m²)	ANGULO DE FRICCIÓN (°)
Arcillas rojizas	1.59	2.5	3.0
Arcillas chocolate	1.62	1.8	2.0
Lutitas Meteorizadas	1.7	0.5	14
Lutitas Dos Bocas	1.91	20.5	23
Lutitas Dos Bocas	1.96	23	23

Estos datos han sido tomados de estudios geotécnicos efectuados por el Ministerio de Obras Públicas en el sector.

Con los parámetros antes anotados y las características geométricas generales de los taludes que se tienen en Tosagua, cuyas alturas promediales varían entre 10 y 12 metros, y para el del deslizamiento del tanque de agua potable en

que se tiene un talud de aproximadamente 20 metros de altura, se procedió a realizar el análisis de estabilidad utilizando el método de Janbú, para el caso de la fallas más críticas.

En el talud de mayor altura que se encuentra actualmente fallado al pie del sistema del tanque de agua potable, se realizó un análisis de estabilidad, utilizando la topografía disponible y los datos geotécnicos obtenidos en la prospección geotécnica y en la información de estudios similares. Los resultados se presentan en cálculos y diagramas en el Anexo Geotecnia, y constan de dos tipos de resultados, el primero con el nivel freático a mediana altura (no el más crítico) y el segundo sin nivel freático es decir drenaje completo; en el primer caso el talud evidentemente es inestable, en el segundo el factor de seguridad es ligeramente superior a 1 (teóricamente estable) sin embargo, debe necesariamente realizarse una modificación de la condición geométrica del talud para que el factor de seguridad sea superior a 1.5 un ejemplo de esa modificación geométrica más un sistema de drenaje sub superficial denominado Trinchera de Intersección de Flujo y la protección vegetal contra la erosión, se presentan también en el Anexo Geotecnia.

Es importante anotar que se han efectuado un sin número de corridas de computación las cuales no han sido impresas.

Igualmente para el caso de los taludes menores (entre 10 y 12 metros) se han realizado un sin número de corridas en el ordenador, determinándose que para el caso de cortes en lutitas los taludes admisibles pueden ser del orden de $1/3$ a 1 . Para los taludes en los que predominan suelos arcillosos y lutitas meteorizadas, las pendientes estables son del orden de 2.5 a 1 .

Un aspecto muy importante a recordar en el proceso de las obras de estabilización es que aun cuando los factores de seguridad obtenidos sean teóricamente aceptados, es decir, sean superiores a 1.5 en condiciones críticas (con intensas precipitaciones, esto es nivel friático alto) se debe realizar necesariamente la protección de esos taludes de corte o relleno mediante la siembra de vegetales tales como pastos, ciertos arbustos con gran cantidad de raíces, etc o también de ser el caso utilizar geotextiles como elementos de control de la erosión especialmente.

4.2 SOLUCIONES DE CONTROL DE LA EROSION.

La principal solución para el control de la erosión consiste en la ejecución de obras de drenaje integral en el sector de Tosagua. Para esto es muy importante que se determinen previamente las condiciones naturales de los drenajes, esto es, para restituir las condiciones previas a la ejecución de las obras. El objetivo de este trabajo es determinar las direcciones preferenciales de las corrientes de aguas lluvias en función de los declives de la topografía. En el caso de la zona

habitada (con densidad de viviendas) se debe constatar previamente la existencia o no de calzadas impermeables (asfaltadas) igualmente calcular los caudales que se producen en las precipitaciones de mayor intensidad, por ejemplo 8 horas continuas de lluvia.

Para el caso de las zonas que se inundan por efecto de la acción del río Carrizal, es importante que se determine el funcionamiento hidráulico del by-pass y otras carreteras que tienen terraplenes que interfieren con el flujo. De no haber otras alternativas será necesario efectuar el diseño y la construcción de nuevas alcantarillas, previamente se deberá establecer las cotas máximas de las avenidas del río Carrizal, para verificar si existen o no posibilidades de drenaje de las zonas inundadas de la parte baja de Tosagua.

Dado que existen gran cantidad de ejemplos de erosión por corrientes sub-superficiales de agua, aparte de drenaje superficial se propone el control de las áreas de infiltración y el control de los flujos sub-superficiales mediante la construcción de pantallas de intersección de flujo o mediante la construcción de drenes y filtros que faciliten la conducción de los flujos hasta los canales de drenaje superficial o hasta el drenaje natural, teniendo en cuenta que bajo ningún punto de vista los caudales deben llegar a los suelos y rocas con gran velocidad de flujo sino que debe existir un sistema reductor de energía de caudales.

4.3 SOLUCIONES PARA CONTROL DE EXPANSION Y COLAPSO.

SOLUCIONES PARA EL CONTROL DE EXPANSION.

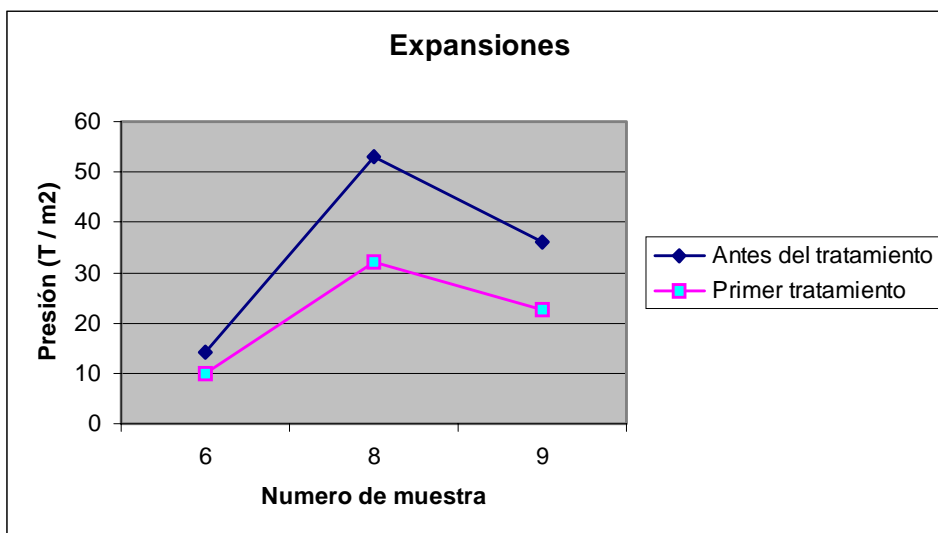
Para verificar la bondad del tratamiento en el control de la expansión, se seleccionaron precisamente las muestras con los suelos más expansivos.

Previamente se realizaron varias experiencias, primeramente añadiendo cal y arena y compactándolas en seco, esta experiencia sin compactar con humedecimiento se obtuvo apenas entre un 15% y un 20% de reducción del potencial expansivo, sin embargo de lo cual la muestra seguían siendo expansivas para efectos prácticos como se demuestra en el siguiente cuadro y curva:

**TABLA 4.3.1
RESULTADOS DEL PRIMER TRATAMIENTO**

MUESTRA	%cal	% arena	%agua	Agua	% w	Def. (%)	P.(T/m2)
6	23	23	0	Dulce	4	9.31	
6	23	23	0	Salada	3.5	10.84	
8	9	9	0	Dulce	5	13.83	32.21
8	9	9	0	Salada	4	14.18	32.21
9	19	19	0	Dulce	6.4		22.74
9	19	19	0	Salada	5		37.89

GRAFICO 4.3.1
RESULTADOS DEL PRIMER TRATAMIENTO



En un segundo grupo de ensayos se procedió a otra forma de tratamiento según la cual, se compacta la muestra utilizando cal, arena y agua en diferentes porcentajes además, se utilizo tanto agua potable como agua de mar. Con la finalidad de establecer la efectividad de este nuevo tratamiento se determinó únicamente el porcentaje de deformación es decir el porcentaje de expansión, con lo cual se estableció que las mezclas más eficientes resultaron con un 10% de cal, 10 % arena y un aproximado de 20% de hidratación. Los resultados generales obtenidos se presentan en el siguiente cuadro:

TABLA 4.3.2
RESULTADOS DEL SEGUNDO TRATAMIENTO

MUESTRA	%cal	% arena	%agua	Agua.	% w	Def. (%)
6	10	10	19	Dulce	32	0.62
6	10	10	19	Salada	32	1.08
7	0	39	17	Dulce	33	2.16
7	0	39	17	Salada	24	1.93
8	40	0	13	Dulce	18	1.55
8	40	0	13	Salada	15.6	1.7
9	20	21	12	Dulce	19	0.37
9	20	21	12	Salada	19.8	2.22
10	16	16	17	Dulce	26	0.5
10	16	16	17	Salada	24.5	0.84

A partir de los resultados obtenidos se seleccionaron los porcentajes más efectivos, decidiéndose entre un valor variable de 9 a 10% de cal y arena que además constituyen una cantidad razonable de material que podría adicionarse al suelo en tratamiento. Es importante destacar que cuando se efectuaron los ensayos sólo utilizando arena en un 40% y por otro lado sólo cal en el mismo porcentaje se evidenció un resultado bastante parecido de descenso de la expansión, sin embargo, se considera que para hacer esta aseveración se deben realizar muchos más ensayos que confirmen la hipótesis, pues de resultar positiva se estaría demostrando una disminución del costo del tratamiento ya que aparentemente daría lo mismo tratar con arena o con cal, siendo esta última evidentemente de mayor valor.

Las investigaciones finales de esta tesis se efectuaron en consecuencia ensayando muestras con los porcentajes de 9.5 a 10% de cal y arena y la compactación con agua, obteniendo presiones de expansión muy bajas aunque con contenidos de humedad altos, como se demuestra en el cuadro siguiente:

TABLA 4.3.3
RESULTADOS DEL TERCER TRATAMIENTO

MUESTRA	%cal	% arena	%agua	Agua.	% w	P. (T/m2)
7	9.5	9.5	21	Dulce	34	1.89
7	9.5	9.5	21	Salada	28	5.68
8	10	10	17	Dulce	26	3.32
8	10	10	17	Salada	26	0.95

En las investigaciones realizadas se constató, que el tratamiento con cal podía ser más eficiente si la cal estaba totalmente pulverizada, en caso contrario, cuando existían fragmentos compactados de cal, la eficiencia del tratamiento disminuía notablemente, pues cuando la cal estaba bien pulverizada, la expansión era prácticamente nula. Sin embargo de esto surgió una duda en el hecho de que la humedad de compactación era muy alta y que por tanto si en condiciones naturales la humedad bajase, se pensó en principio que podría volver a ocurrir la expansión.

En el siguiente cuadro se muestra los resultados, de someter al ensayo de expansión muestras tratadas, y secadas posteriormente, en este caso el

resultado fue muy halagador ya que no se produjo variaciones significativas en el esfuerzo expansivo:

TABLA 4.3.4
RESULTADOS FINALES

MUESTRA	%cal	% arena	%agua	Agua.	% w	P. (T/m2)
7	9.5	9.5	21	Dulce	11	1.89
7	9.5	9.5	21	Salada	15	0
8	10	10	17	Dulce	10	4.74
8	10	10	17	Salada	9	7

SOLUCIONES PARA CONTROL DE COLAPSO.

Pese a que no se han detectado problemas de colapso específicos, ya que la mayoría de casos constituyen fallas por cortante o por causa de la erosión de los materiales, en el presente trabajo, se propone como solución para contrarrestar los asentamientos debidos a espacios vacíos dentro del suelo que en algunos casos podría llamarse tubificación y en otros extremos sifoneamiento,, compactar los suelos y las rocas muy meteorizadas, dándoles previamente el tratamiento para control de la expansión, antes descrito.

Se debe tener en cuenta que en varios casos de obras de Tosagua existen oquedades, zanjones, etc bajo la cimentación de las obras, consecuentemente cualquier intento de reparación o adecuación de dichas obras, debe realizarse, rellenando previamente con compactación y tratamiento contra la expansión dichos espacios huecos y tomando especial atención del flujo de las aguas

superficiales subterráneas, causantes sin duda, de dichos problemas. Esto implica, que paralelamente se deben ejecutar las obras de control de drenaje.

4.4 SOLUCIONES UTILIZANDO NUEVOS MATERIALES.

Dentro de este aspecto y como se ha demostrado para el tratamiento de expansión es posible utilizar materiales como agua de mar, arena de río, arena de mar y otros suelos de mayor granulometría.

Para el caso de la estabilización de los deslizamientos, y de acuerdo a las experiencias que tiene la ESPOL (el autor ha sido parte del equipo técnico de la ESPOL), se logra estabilizar deslizamientos mediante la utilización de materiales aligerados como el poliestireno expandido, en los sitios donde se debe reconstruir terraplenes que pese desfavorablemente.

También se ha puesto en práctica la colocación de geomembrana logrando así el objetivo de abatir el Nivel de Flujo de Aguas subterráneas, disminuyendo así las presiones intersticiales y los empujes hidrostáticos en las masas de suelos. Lo interesante de este tipo de soluciones es que aparte del control del área de infiltración en sí misma, se captan los caudales de aguas lluvias mediante canales y sistemas reductores de energía del mismo material (geomembrana de alta resistencia).

Es importante enfatizar que cuando se quiere construir canales en sectores con terrenos expansivos si no se ha controlado la expansión se puede construir canales de drenaje utilizando el mismo material de geomembrana, estas soluciones han sido dadas con mucho éxito en la terraza de tanques del Terminal Petrolero de BALAO.

4.5 RECOMENDACIONES PARA EL PROCESO CONSTRUCTIVO.

Para reducir a un mínimo los problemas de expansión en estructuras **ligeras** se puede optar por lo siguiente:

- Sacar el material expansivo hasta donde sea posible y rellenar el espacio generado con material granular (este material debe ser bien seleccionado y cumplir con las normas de la subbase requerida) en una cantidad suficiente como para impedir la expansión por el peso del relleno. Este tratamiento es eficiente si el relleno se coloca después de que se haya producido por lo menos parcialmente la expansión esperada; el asentamiento se disminuirá por la carga previa.

- Tomar las precauciones necesarias para impedir el aumento del contenido de agua en el terreno, ya sea mediante canales, recubrimientos plásticos y asfálticos entre la losa de concreto y el terreno, juntas impermeables, etc.
- Tratar el suelo con algún procedimiento que lo haga menos expansivo, como el tratamiento que se mencionó anteriormente utilizando la cal y la arena y compactando con agua. Es importante que se realice un estudio de las propiedades del suelo para verificar que la estructura no sufra asentamientos o se pierda capacidad de carga.
- Hacer cimentaciones flexibles que se adapten a los movimientos de expansión.

Para estructuras **moderadamente importantes** podemos hacer lo siguiente:

- Concentrar las cargas de la estructura al subsuelo en zapatas que transmitan una presión tal que impida su levantamiento.
- Usar pilotes, pilas, cajones de cimentación, apoyados en estratos no sujetos a fenómenos de expansión. Se debe cuidar la tensión a lo largo del fuste en los elementos de cimentación al expandirse el manto arcilloso superior,

para lo cual se puede ensanchar la base de los pilotes y reforzar sus conexiones con el resto de los elementos de la cimentación.

Para estructuras **pesadas** podemos hacer lo siguiente:

Normalmente en estructuras pesadas, el peso de la misma se encarga de poner a la estructura a cubierto de movimientos verticales ascendentes, sin embargo para este tipo de arcillas en particular sería conveniente efectuar pruebas de expansión bajo las cargas reales, y aplicar alguno de los procedimientos mencionados para estructuras moderadas.

En todo tipo de construcción en este tipo de terrenos siempre se debe tener en cuenta la posibilidad de que con los períodos de sequía se altere el contenido de humedad por lo que sería conveniente tomar las precauciones en cuanto al drenaje de la obra.

Debemos tener en cuenta que en este tipo de arcillas la resistencia al esfuerzo cortante suele reducirse en función del tiempo, hasta hacerse prácticamente nula.

Debido a la características de los suelos y a la presencia del nivel freático, durante las actividades que requieran la excavación de zanjas, se deberá prever la construcción de ademes o entibamientos a fin de evitar deslizamientos de material o caída de bloques hacia el interior de las zanjas.

CAPITULO 5

EVALUACION DE COSTOS

5.1 COSTO ESTIMADO DE LOS DAÑOS OCURRIDOS POR EL FENÓMENO EL NIÑO.

En el Anexo Daños se presenta el registro de los daños ocurridos entre 1997 y 1998, tiempo que duró el último Fenómeno climatérico lluvioso. Dichos cuadros contienen la información referente a la persona afectada, área del terreno, dimensiones de la obra, avalúo comercial y valoración de los daños causados. Estos datos se refieren únicamente a los daños sufridos por concepto de afectaciones o destrucciones de obras durante el Fenómeno, no constan los daños posteriores, como por ejemplo, no disponer de vivienda, no tener servicios básicos y otras pérdidas comerciales.

De un total de 440 edificaciones afectadas, se tiene un total de 450,890.00 dólares en daños, este análisis se realizó considerando el dólar a 25000 sucres, en 1999, época en la cual se efectuó dicho censo, el dólar fluctuaba entre 8 y 10 mil sucres, con lo que el costo real de los daños sería en más de 120% superior al antes mencionado valor.

5.2 COSTO ESTIMADO DE LA RECONSTRUCCIÓN, EN LAS CONDICIONES PROPUESTAS.

Teniendo en cuenta los costos actuales y el deterioro que han sufrido algunas construcciones afectadas, se estima que el monto de reconstrucción de viviendas sería superior al millón de dólares.

La rehabilitación, reconstrucción y la ejecución de obras de estabilización y otras necesarias para la población, arrojan las siguientes cifras:

- **Drenaje:**

Construcción de canales	250,000.00 dólares
Filtros y Drenes	100,000.00 dólares
Pantallas	180,000.00 dólares

- **Estabilización de Deslizamientos:**

Deslizamiento tanque:	400,000.00 dólares
Deslizamientos pequeños (5)	250,000.00 dólares

- **Estabilización Areas Erosionables:**

100,000.00 dólares

- **Estabilización en Terrenos Expansivos:**
80,000.00 dólares

- **Obras de drenaje en áreas inundables:**
No determinado

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La ciudad de Tosagua se encuentra principalmente sobre la formación llamada Miembro Dos Bocas, formado principalmente por lutitas (arcillolitas limosas) de color café - chocolate, laminares o en bloques, con concreciones calcáreas habanas y ocasionalmente con contenidos de yeso asociado a las fracturas.
- Los terrenos de Tosagua, cuando son humedecidos por períodos lluviosos largos, carecen aparentemente de expansividad, de aquí se deduce que es muy importante tener en cuenta, la época del año, y sobre todo el tiempo en el cual se realiza el muestreo, no siendo conveniente realizar investigaciones de expansión luego de poco tiempo de terminado un período intensamente lluvioso.
- Es necesario puntualizar que los ensayos geotécnicos deben ser efectuados preferentemente con muestras secas, si no lo están, las muestras deben ser secadas al sol, hasta obtener las condiciones similares de los terrenos de Tosagua luego de períodos de sequía.
- Con la presencia de las lluvias en largos períodos, los suelos no sólo captan gran humedad, con lo cual primero se expanden, y luego se erosionan, si no que también forman parte de un sistema hidrogeológico con la

presencia del nivel freático y la circulación de aguas subterráneas, con lo que pueden presentarse fenómenos de tubificación y sifonamiento, que agravan más su comportamiento geomecánico, que es muy crítico cuando existen obras construidas.

- En las investigaciones realizadas se constató, que los suelos y las rocas meteorizadas expansivas de Tosagua pueden ser tratadas empleando diversos materiales, en diferentes porcentajes en la conformación de terraplenes. La utilización de cal, arena, agua de mar, dio excelentes resultados, los cuales ya han sido verificados en otros trabajos tales como la estabilización de terraplenes en el CENAIM (Centro Nacional de Investigaciones Marinas).
- Las lutitas de Tosagua, no pueden ser excavadas y dejadas a la intemperie pues tanto la lluvia como la acción solar producen grandes alteraciones en la resistencia geomecánica, tales como agrietamientos, fisuramientos, de los cuales se generan desprendimientos de cuñas, pequeños bloques, que facilitan la erosión e inclusive pueden tornarse en deslizamientos.
- La población de Tosagua debe realizar el estudio, diseño y construcción de un sistema de drenaje superficial tanto para el control de la erosión como para mitigar las inundaciones que puede causar el río Carrizal.

- Para la reconstrucción y rehabilitación de las obras afectadas o destruidas del cantón Tosagua es imprescindible que se realice primero la estabilización de los volúmenes colapsados que contienen muchos espacios vacíos bajo la cimentación de las diferentes obras.

- La M. I. Municipalidad de Tosagua debe proceder de forma urgente a la realización del levantamiento topográfico, haciendo especial énfasis en los sectores más afectados.

- Deben realizarse estudios geotécnicos en sectores, en las obras afectadas y darse las soluciones correspondientes.

- La ciudad de Tosagua debe disponer de un plan de desarrollo urbano, apoyando en primer término en estudios aplicados de la información básica, en la ejecución de la cartografía geotécnica y en la elaboración de un plano de constructividad con lo que se logrará manejar de mejor forma los graves estados de emergencia a los que se somete la población durante los Fenómenos El Niño.

BIBLIOGRAFIA

1. D. W. Taylor, Fundamentos de la Mecánica de Suelos (Tercera impresión en español, 1968) pp 37 – 90
2. P. L. Berry, Mecánica de Suelos (McGraw-Hill, 1993), pp 275- 300
3. C. Terreros – V. Moreno, Mecánica de Suelos – Laboratorio, pp 95 - 100
4. M. A. Chávez – Estudio y diseño de los taludes de la carretera San Clemente, Las Coronas, Bahía de Caráquez, MOP – 1978.
5. GEOSUELOS CIA. LTDA – Estudio y diseño del Sistema de Alcantarillado de Tosagua – 1998.
6. ESPOL FACULTAD ICT – M. A. Chávez – Estudio, diseño y construcción de terraplenes, taludes, muros y protección marina en el CENAIM – 1989.
7. ESPOL FACULTAD ICT – Estudio, diseño y construcción de las obras de estabilización en el deslizamiento del Cerro del Carmen – 1997.
8. ESPOL FACULTAD ICT – Estudio y diseño para la estabilización del deslizamiento en Montecristi – 1998.

9. ESPOL FACULTAD ICT - Estudio y diseño para la estabilización del deslizamiento en Cerro Azul - 1999.

10. ESPOL FACULTAD ICT - Estudio y diseño para la estabilización de los deslizamientos en la terraza de tanques Terminal Petrolero BALAO PETROECUADOR ESMERALADAS - 2000.

10. M. A. Chávez - Estudio y diseño para la estabilización de los deslizamientos ocurridos en el Destacamento del Batallón BALAO, Armada Nacional - 1998.

11. ESPOL FACULTAD ICT - Construcción de las obras de estabilización en el Destacamento del Batallón BALAO, Armada Nacional - 1999 - 2000.